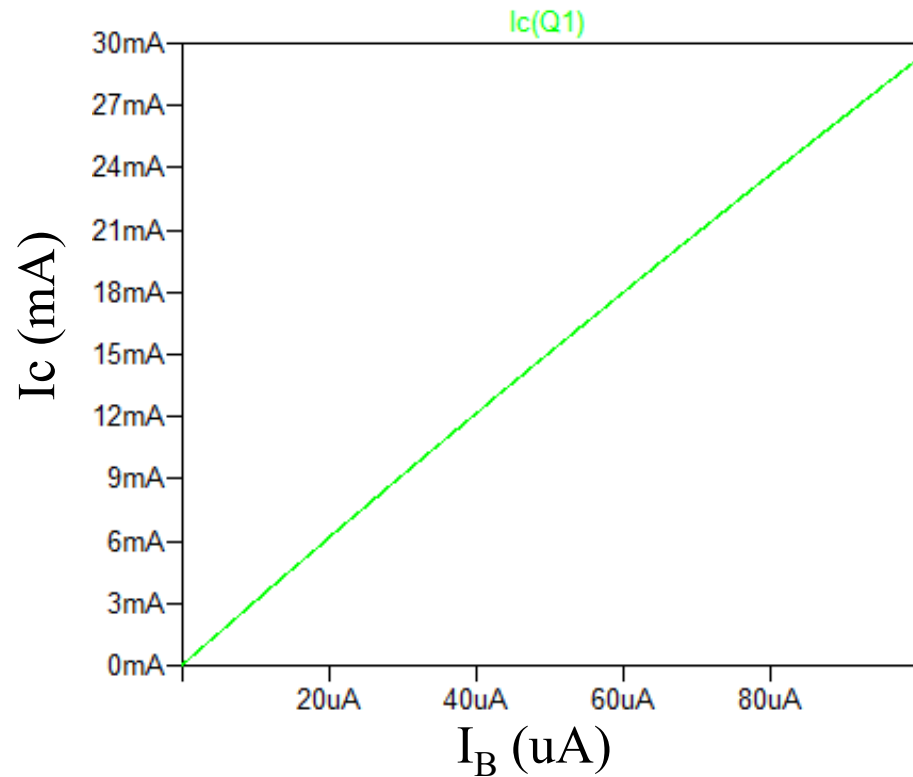
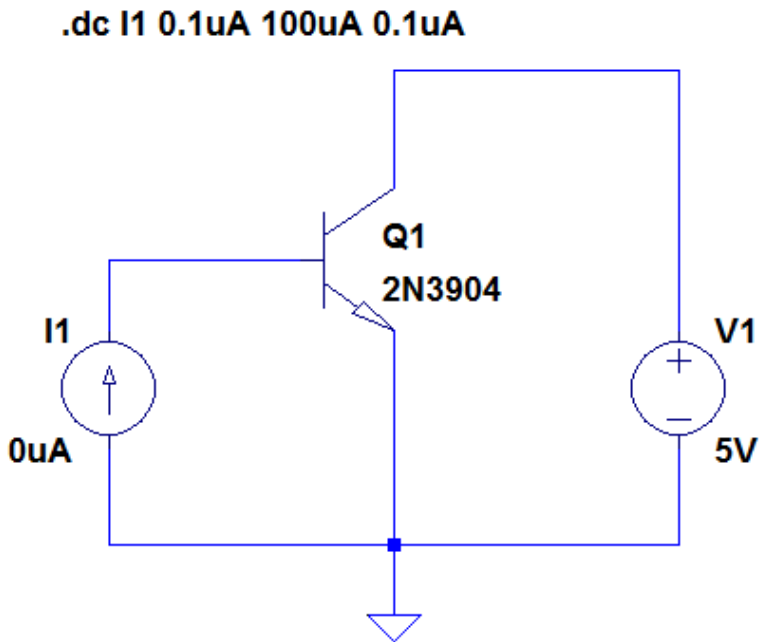


第3章 トランジスタの特性と機能

トランジスタのキャラクタリゼーション

3.1 トランジスタの特性解析

I_C - I_B 特性



シミュレーション後にQ1のコレクタ付近をクリックして電流値をグラフに表示。

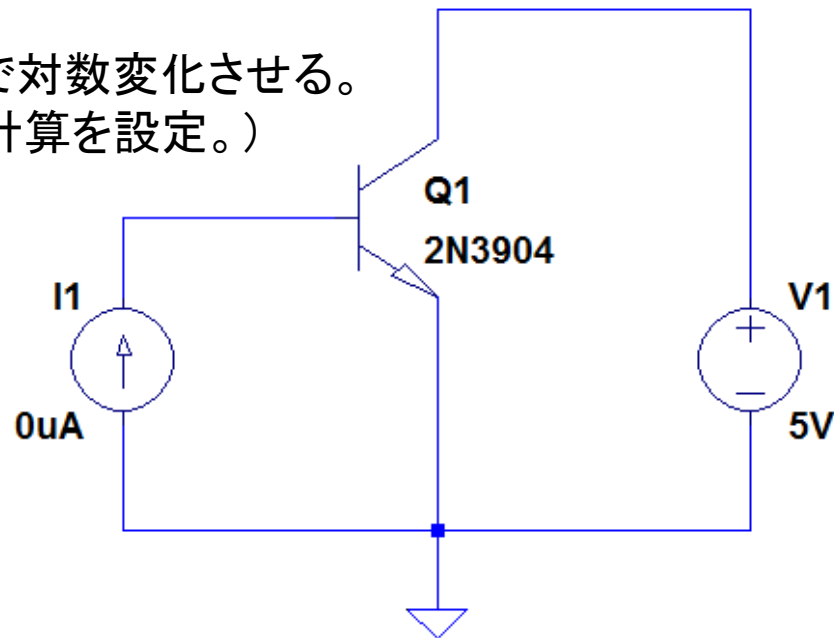
I_C - I_B 特性は完全な比例関係ではないので、 h_{FE} も電流値によって変化すると予想される。

$h_{FE} - I_C$ 特性の測定回路

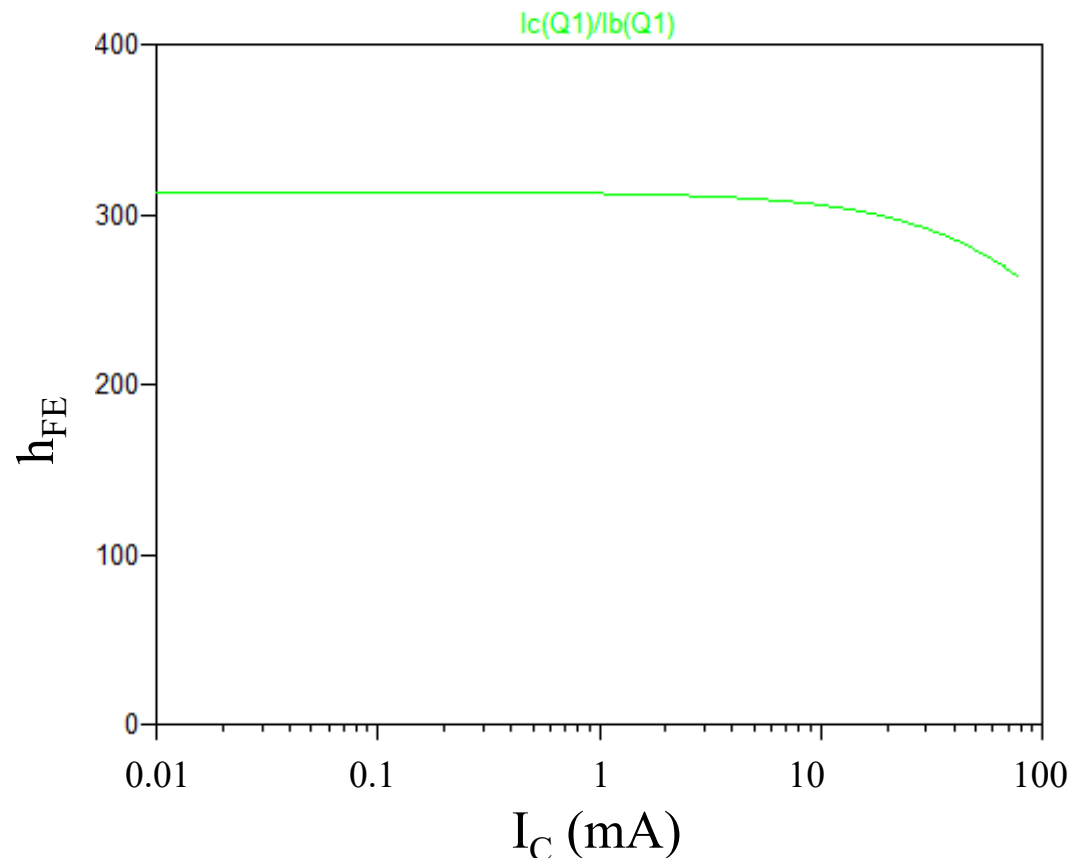
$h_{FE} - I_C$ 特性をシミュレーションし、データシートと比較してみよう。データシートは、電流軸が対数目盛なので、I1も対数変化させてみる。

コメント → `;dc I1 0.1uA 100uA 0.1uA`
→ `.dc dec I1 0.01uA 300uA 101`

0.01uA ~ 300uA まで対数変化させる。
(一桁100ポイントの計算を設定。)



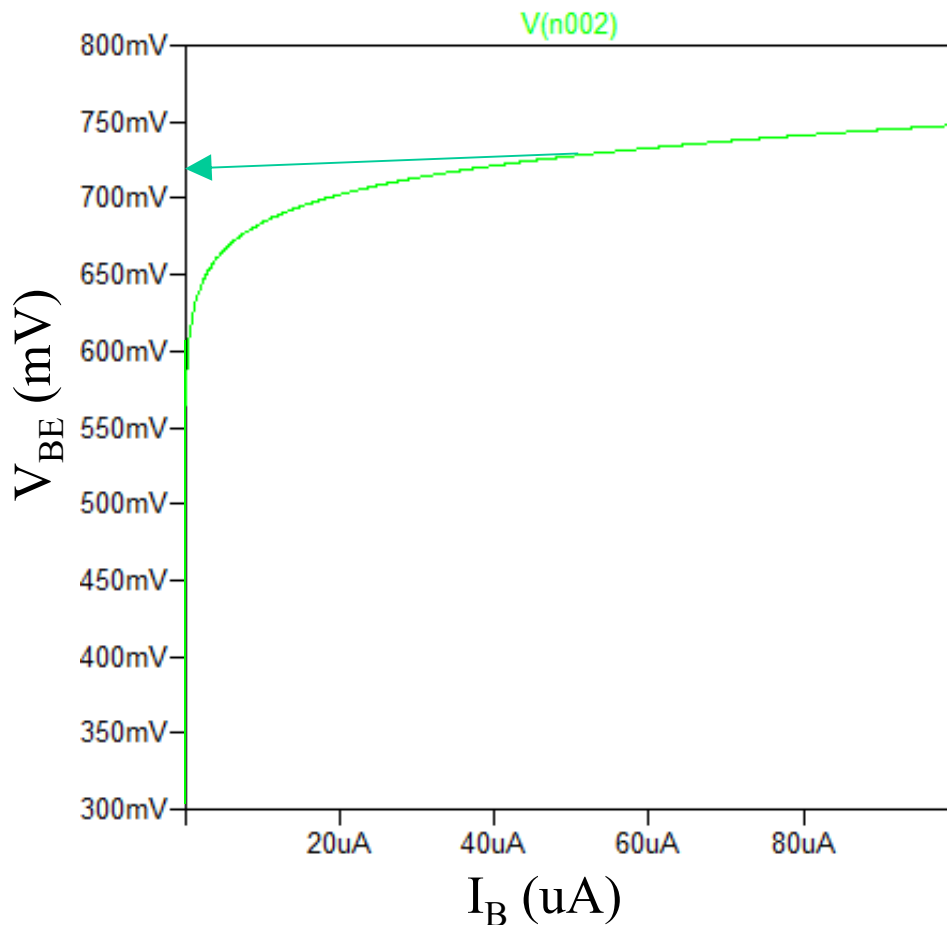
$h_{FE} - I_C$ 特性



1. グラフウィンドウを右クリック
2. Add Traceを選択
3. Expression to add:欄に $Ic(Q1)/Ib(Q1)$ を入力して、OKボタン
4. 横軸の数値をクリック
5. Quantity Plotted:欄に $Ic(Q1)$ を入力、Logarithmic にチェックが入っていることを確認
6. LeftとRightを適切に設定
7. 縦軸の数値をクリック
8. TopとBottomを適切に設定

h_{FE} は I_C (または I_B) に依存。310~260ぐらいまで変化している。データシートでの $h_{FE} - I_C$ 特性よりやや大きめである(特性ばらつきがある)。

V_{BE} - I_B 特性

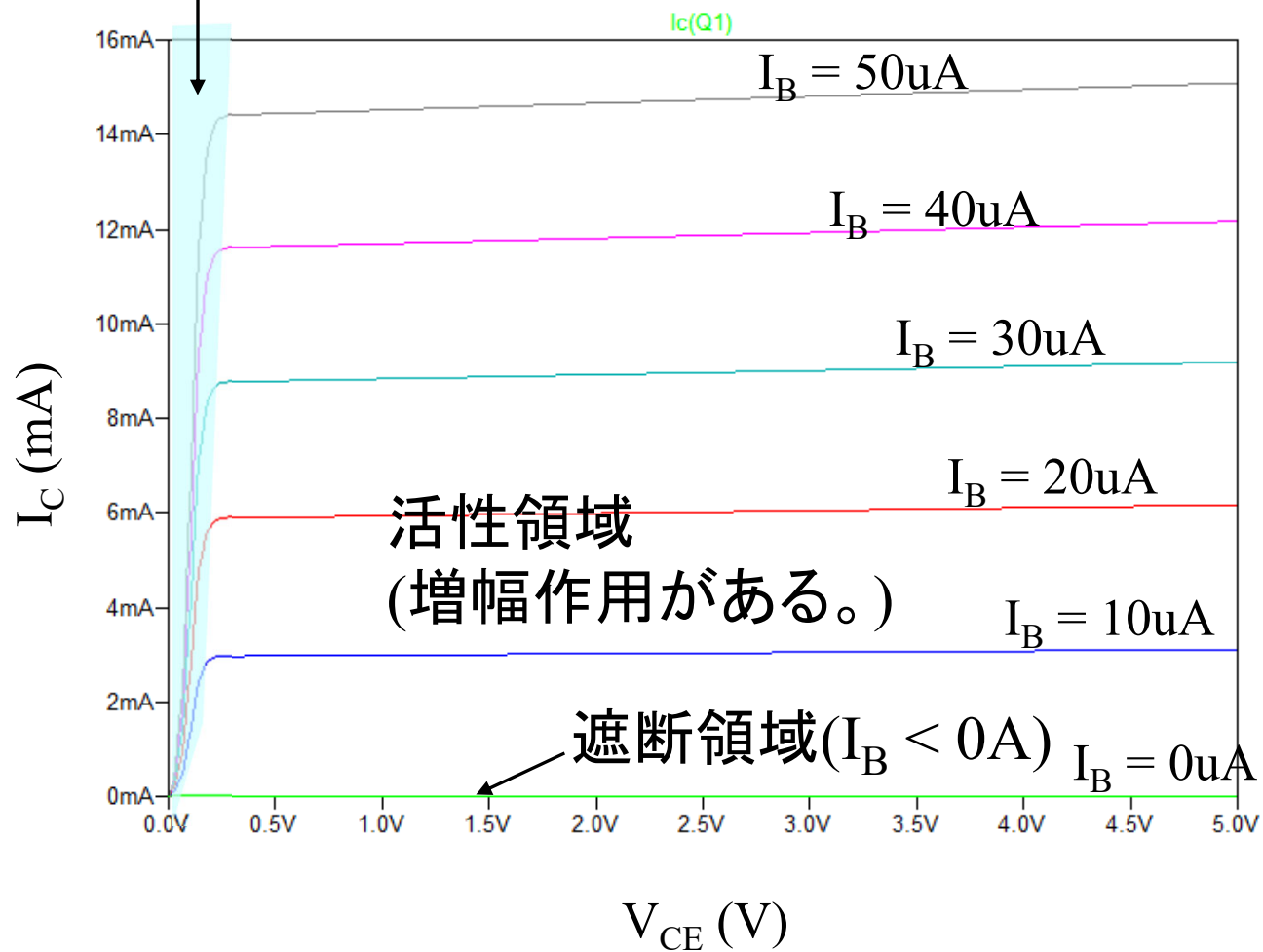


pn接合の順方向特性と同じだが、キャリア(=電子とホールの総称)は、大半がコレクタに行くのでベースの電流値は小さい。

ベース-エミッタ間順方向電流の立ち上がり電圧を $V_{BE} = 0.6V$ (一定)と近似して計算をする場合が多いが、実際は I_B に依存しており、シミュレーション結果では、 $V_{BE} = 0.73V$ ($I_B = 50uA$ のとき)となる。

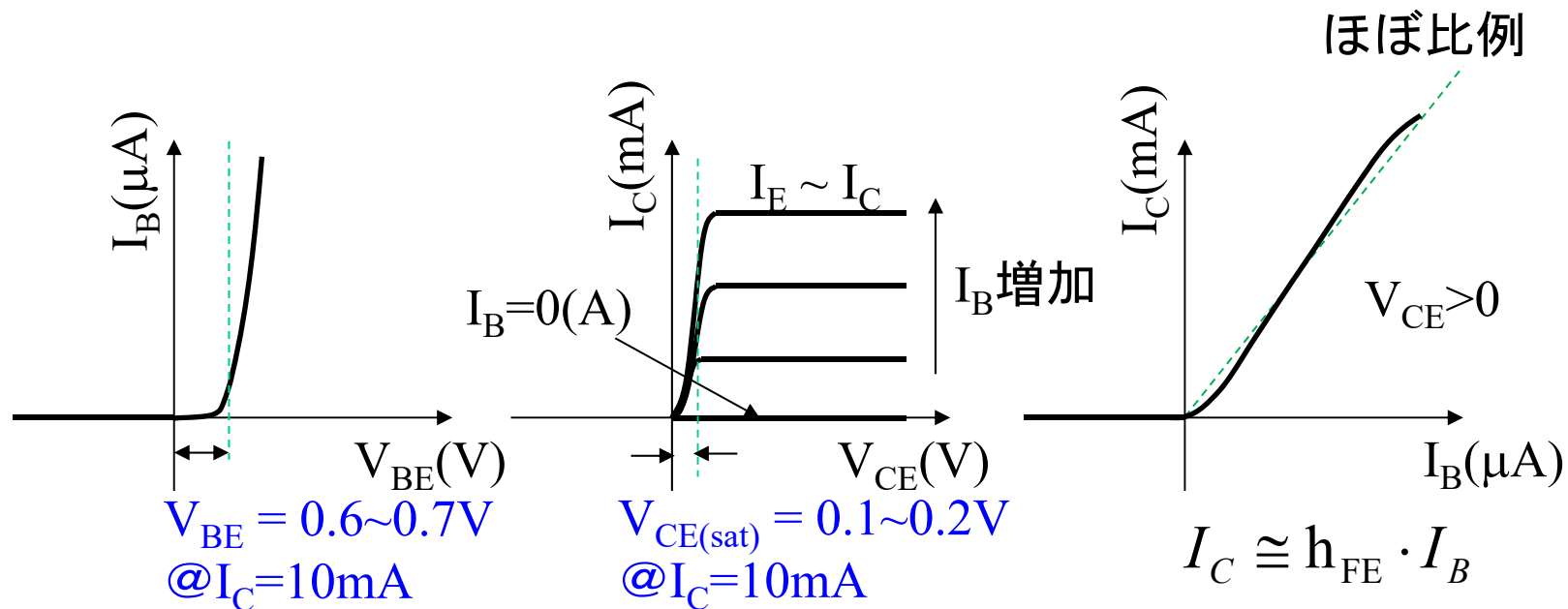
I_C - V_{CE} 特性

飽和領域($V_{CE} < \sim 0.2V$)



エミッタ接地形式での直流特性

npnトランジスタの例

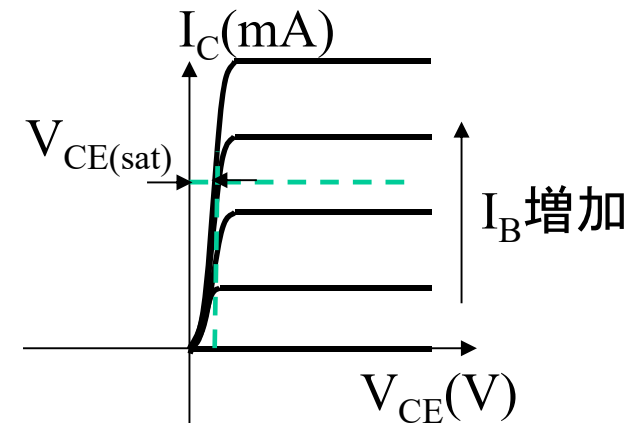


順方向のpn接合とほぼ同じ形となる。 h_{FE} (10~1000): エミッタ接地電流増幅率

$$V_{CE(sat)}$$

$V_{CE(sat)}$ は、トランジスタ回路の設計の際によく使用される値である。データシートにも記載されている。

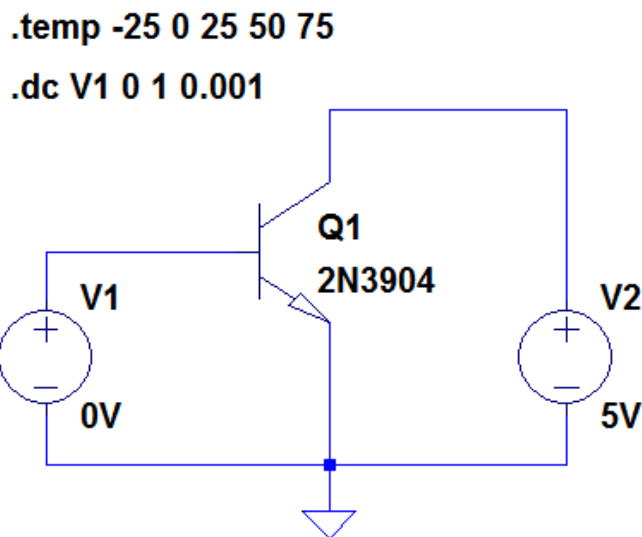
- $V_{CE(sat)}$: I_C を一定として I_B を変えたとき飽和領域となる V_{CE} の値
 - 半導体メーカーでは、 I_B を増加させても I_C が増えず、 I_C/I_B の値が十分小さくなる値と解釈して、 $I_C/I_B = 10$ となる V_{CE} を $V_{CE(sat)}$ と定義
 - トランジスタが飽和状態 (ON) となる V_{CE} の目安 (これより低いと飽和)



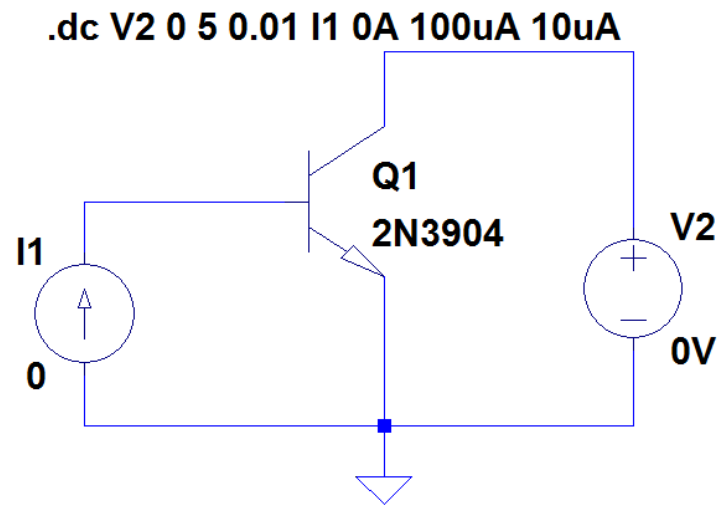
トランジスタの直流特性測定回路

下記のような、エミッタ接地直流特性の測定回路を作成し、 I_B - V_{BE} 特性と I_C - V_{CE} 特性のグラフを作成せよ。

[参考] 回路シミュレータは、端子に流れ込む電流を正值と表記している。



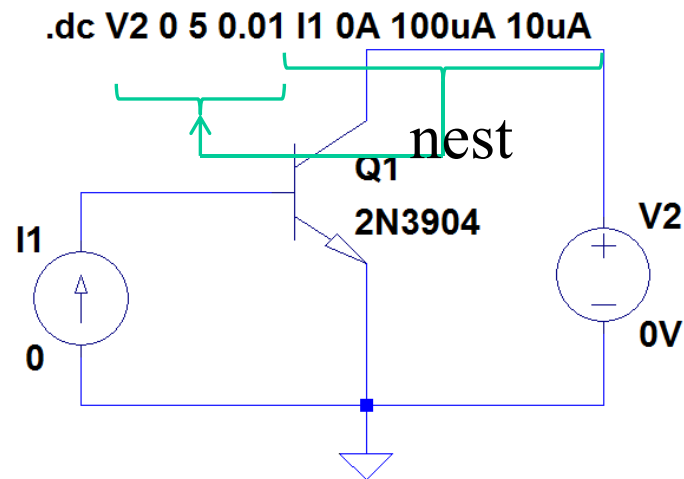
I_B - V_{BE} 特性測定回路
横軸 $V_{BE} = 0 \sim 1V$
縦軸 $I_B = 0 \sim 100\mu A$



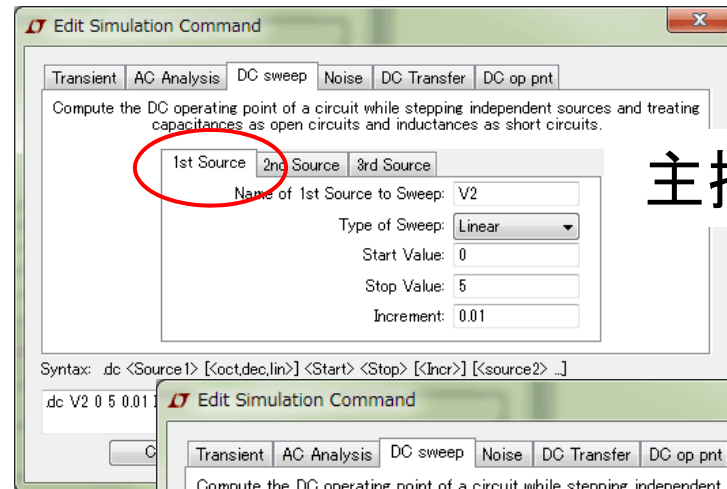
I_C - V_{CE} 特性測定回路
横軸 $V_{CE} = 0 \sim 5V$
縦軸 $I_C = 0 \sim 30mA$

.dcコマンドのネスト設定

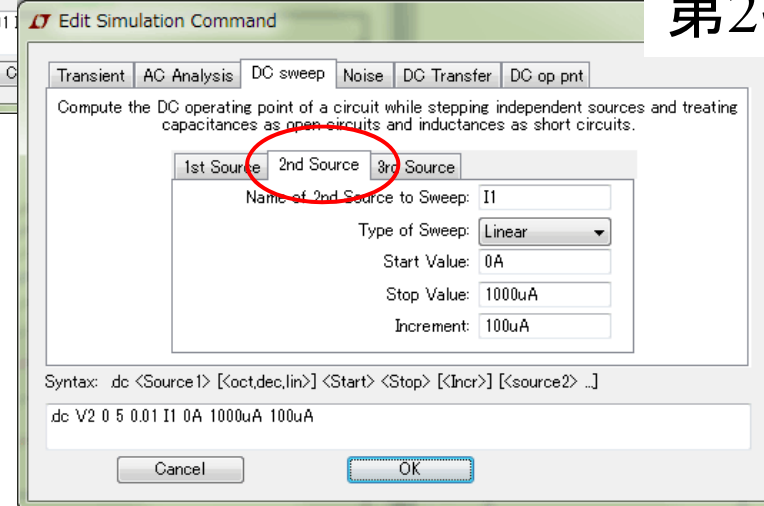
前スライド右側の回路は、.stepコマンドでI1の値を変更することもできるが、電圧源や電流源については、.dcコマンドによる、ネスト掃引が可能である。



I1を変更してV2の掃引を繰り返す。



主掃引



第2掃引

課題3.1

1. スライド10のシミュレーションで求めた I_B - V_{BE} 特性と、 I_C - V_{CE} 特性のグラフをレポートに貼り付けて提出せよ
2. I_B - V_{BE} 特性の $I_B = 100\mu\text{A}$ におけるベース-エミッタ間電圧 V_{BE} は、温度とともにどのように変化するか説明せよ
3. -25°C , 0°C , 25°C , 50°C , 75°C での h_{FE} - I_C 特性のシミュレーションを行い、グラフをレポートに貼り付けて提出せよ
4. 温度が上昇すると h_{FE} - I_C 特性はどのように変化するか説明せよ

3.1節のまとめ

- I_C - I_B 特性
 - ほぼ比例関係
 - 比例係数は、エミッタ接地電流増幅率と呼ばれ、 h_{FE} または β_0 と表記される
 - h_{FE} は強い温度依存性を持つ
- I_B - V_{BE} 特性
 - pn接合ダイオードとほぼ同じ特性
 - I_B - V_{BE} 特性は、温度によって大きく変化し、あるベース電流における順方向電圧は、温度上昇により低下する
- I_C - V_{CE} 特性
 - 飽和領域、活性領域、遮断領域に分かれる
 - 活性領域では、 I_C は V_{CE} 依存性が弱く、ほぼ I_B で決定される
 - 増幅作用(電流制御機能)は活性領域で現れる
 - $V_{CE} < V_{CE(sat)}$ の場合は飽和領域、 $I_B < 0$ のときは遮断領域になる